

BEST AVAILABLE COPY

Light-conductive fiber and method of producing a light conductive fiber

Patent number: DE10059314

Publication date: 2002-06-13

Inventor: HEINE-FRANK (DE)

Applicant: BOSCH GMBH ROBERT (DE)

Classification:

- International: G02B6/10, G02F1/39, H01S3/067, H01S3/17

- european: H01S3/067C

Application number: DE20001059314 20001129

Priority number(s): DE20001059314 20001129

Also published as:

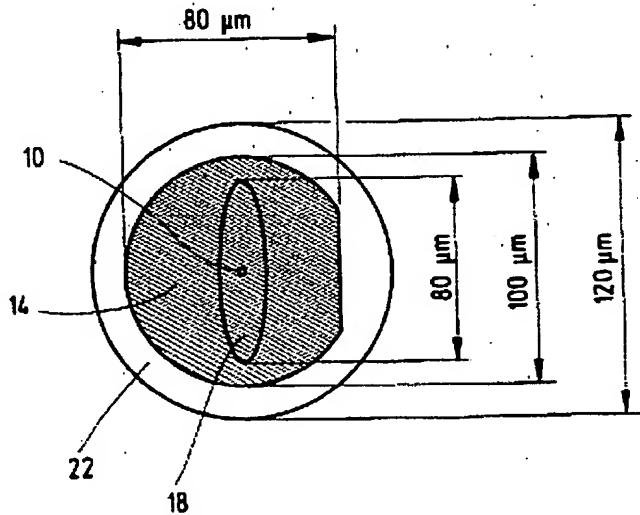
US2002071455 (A1)

GB2373366 (A)

Abstract not available for DE10059314

Abstract of correspondent: US2002071455

A light-conductive fiber has a doped monomode core which extends substantially in a longitudinal direction of the fiber, a pump core which surrounds the monomode core and has a noncircular symmetrical cross-section, and at least one stress core which extends substantially in a longitudinal direction of the fiber and applies forces to the monomode core



Data supplied from the [esp@cenet](mailto:esp@cenet) database - Worldwide

⑯ Offenlegungsschrift  
⑯ DE 100 59 314 A 1

⑯ Int. Cl. 7:  
G 02 B 6/10  
G 02 F 1/39  
H 01 S 3/067  
H 01 S 3/17

⑯ Aktenzeichen: 100 59 314.3  
⑯ Anmeldetag: 29. 11. 2000  
⑯ Offenlegungstag: 13. 6. 2002

DE 100 59 314 A 1

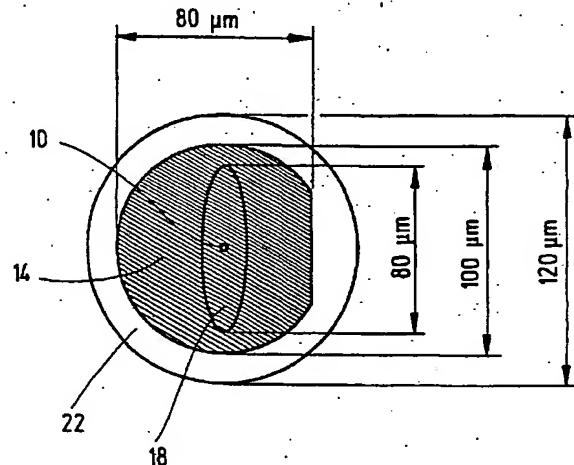
⑯ Anmelder:  
Robert Bosch GmbH, 70469 Stuttgart, DE

⑯ Erfinder:  
Heine, Frank, Dr., 74535 Mainhardt, DE

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

⑯ Lichtleitende Faser und Verfahren zum Herstellen einer lichtleitenden Faser

⑯ Die Erfindung betrifft eine lichtleitende Faser mit einem dotierten Einmodenkern (10), welcher sich im Wesentlichen in Längsrichtung der Faser erstreckt, und einem Pumpkern (14), welcher den Einmodenkern (10) umgibt, wobei der Pumpkern (14) einen nicht zirkularsymmetrischen Querschnitt aufweist und in der Faser mindestens ein Stresskern (18) vorgesehen ist, welcher sich im Wesentlichen in Längsrichtung der Faser erstreckt und welcher auf den Einmodenkern (10) Kräfte ausübt. Vorteilhaftweise weist der Einmodenkern (10) eine Codotierung mit Cer auf. Die Erfindung betrifft ferner ein Verfahren zum Herstellen einer lichtleitenden Faser.



DE 100 59 314 A 1

## Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft eine lichtleitende Faser mit einem dotierten Einmodenkern, welcher sich im Wesentlichen in Längsrichtung der Faser erstreckt, und einem Pumpkern, welcher den Einmodenkern umgibt, wobei der Pumpkern einen nicht zirkularsymmetrischen Querschnitt aufweist. Die Erfindung betrifft ferner ein Verfahren zum Herstellen einer lichtleitenden Faser mit einem dotierten Einmodenkern, welcher sich im wesentlichen in Längsrichtung der Faser erstreckt, und einem Pumpkern, welcher den Einmodenkern umgibt, wobei der Pumpkern einen nicht zirkularsymmetrischen Querschnitt aufweist, bei dem der Einmodenkern mit einem Element aus der Gruppe Neodym, Erbium, Thulium, Holmium, Ytterbium und Praseodym dotiert wird.

## Stand der Technik

[0002] Es ist bekannt, gattungsgemäße lichtleitende Fasern als Laserfasern oder Verstärkerfasern einzusetzen. Zu diesem Zweck werden die Fasern mit laseraktiven Ionen dotiert. Bekannte Anwendungen der gattungsgemäßen Fasern liegen beispielsweise in der optischen Intersatellitenkommunikation.

[0003] An die Funktion dieser Fasern bestehen unterschiedlichste Anforderungen:

- Es ist erwünscht, eine hohe optische Ausgangsleistung zur Verfügung zu stellen, welche oberhalb von 100 mW oder sogar oberhalb von 10 W liegt.
- Ferner ist man bestrebt, eine hohe Kanaltrennung und einen hohen Signal-zu-Rausch-Abstand des Kommunikationspfades zur Verfügung zu stellen.
- Weiterhin benötigt man aufgrund der speziellen Umweltbedingungen bei der Intersatellitenkommunikation, bei welcher die Fasern zum Einsatz kommen, eine Widerstandsfähigkeit gegen eine radioaktive Bestrahlung.

[0004] Für einzelne dieser Forderungen wurden bereits Lösungsmöglichkeiten vorgeschlagen.

[0005] Ein hohe optische Ausgangsleistung sowie die Forderung einer hohen Zuverlässigkeit der zum optischen Anregen der Faser benötigten Laserdioden erhält man auf der Grundlage eines Doppelkern-Pumpkonzeptes. Laser mit einem derartigen Doppelkernaufbau haben eine Struktur, bei welcher um den mit einem Element der seltenen Erden dotierten Einmodenkern herum ein nicht zirkularsymmetrischer Pumpkern angeordnet ist. Dieser ist aufgrund seiner numerischen Apertur und seines Durchmessers vielmodig. Die Funktion dieses Pumpkerns besteht nur darin, dass das Anregungslicht, welches in den laseraktiven Einmodenkern eingekoppelt werden soll, geführt wird. Auf diese Weise ist es möglich, eine große Pumplichtleistung zur Verfügung zu stellen, womit eine Einkopplung einer hohen Anregungsleistung bewirkt wird. Dies hat zur Folge, dass hohe Laserleistungen und Verstärkerausgangsleistungen erzielt werden. Allerdings emittieren derartige Systeme unpolarisiertes Licht. Da bei Weltraumapplikationen Polarisationsfilter zur Sende- und Empfangskanaltrennung eingesetzt werden, sind die beschriebenen Doppelkernstrukturen nicht zum Einsatz für Weltraumapplikationen geeignet.

[0006] Es ist bereits bekannt, Fasern eine polarisationserhaltende Eigenschaft zu vermitteln. Dies wird durch das Einbringen von Strukturen in den Mantel der Einmodenfaser erreicht. Derartige Strukturen werden auch als Stresskerne bezeichnet. Die Stresskerne besitzen einen anderen

thermischen Ausdehnungskoeffizienten als das Fasermaterial (zum Beispiel Quarzglas), und die hierdurch in dem Einmodenkern induzierte Spannung bewirkt eine Doppelbrechung des Einmodenkerns. Hierdurch wird ihm eine polarisationserhaltende Eigenschaft vermittelt.

[0007] Eine Strahlungsbeständigkeit ist für die Unterwasserkommunikation und insbesondere für Intersatellitenverbindungen besonders wichtig. Die Strahlungsbeständigkeit kommt zu den bei terrestrischen Applikationen existierenden Randbedingungen noch als weitere Bedingung hinzu, um eine Strahlungsschädigung über den Anwendungsbereich von einigen Jahren zu verhindern. Eine solche Strahlungsschädigung führt zu einer langsamen Degradation der Performance bis zum Erlöschen des Laserbetriebs beziehungsweise des Verstärkerbetriebs. Ursächlich für eine solche Verschlechterung sind die Farbzentren in den Fasern, das heißt solche Zentren, welche im sichtbaren Bereich und im nahen infraroten Spektralbereich absorbieren. Durch das Herauslösen von Elektronen aus den Atomen der Lasermaterialien oder der Verstärkermaterialien wird eine Verschlechterung der Funktionsfähigkeit erreicht. Die herausgelösten Elektronen sind nicht mehr stationär und können an anderen Atomen im Material in langzeitstabile Zentren umgewandelt werden, welche spektral breitbandige Absorptionswellen aufweisen. Die Bandbreite kann bis einige hundert Nanometer betragen. Die in diesen Zentren absorbierte Lichtleistung wird in Wärme umgewandelt und schwächt das zur Aufrechterhaltung des Laserbetriebs beziehungsweise des Verstärkerbetriebs notwendige Nutzsignal. Es wurden in der Vergangenheit verschiedene bei der Herstellung der Fasern veränderbare Parameter untersucht, beispielsweise die Ziehgeschwindigkeit, die Temperatur und die verwendeten Ausgangsmaterialien. Ferner wurden die Einflüsse der zur Einstellung des Brechungsindexprofils notwendigen Codotierungen von beispielsweise Phosphor, Germanium und Aluminium auf die Strahlungsresistenz der Fasern geprüft. Dabei stellte sich heraus, dass die Verwendung von Phosphor einen nachteiligen Effekt auf die Strahlungsbeständigkeit bei Fasern hat. Im Gegensatz dazu hat die alleinige Verwendung von Germanium einen mindernden Effekt auf die Strahlungsschäden. Allerdings existieren bei den Fasern, welche mit laseraktiven Ionen dotiert sind, bis heute keine überzeugenden Lösungen, wenn die akkumulierten Strahlungsdosen im Bereich von 50 bis 200 kRAD liegen. Diese Dosen treten bei Weltraumapplikationen durchaus auf. Ein bekannte Maßnahme, optische Gläser gegen Strahlungsschäden zu schützen besteht darin, eine Codotierung mit Chrom oder mit Cer durchzuführen.

[0008] Bis heute existieren jedoch keine befriedigenden Lösungen zur Bereitstellung einer Faser, welche im Hinblick auf alle oben geschilderten Kriterien zufriedenstellende Ergebnisse liefert.

## Vorteile der Erfindung

[0009] Die Erfindung baut auf der gattungsgemäßen Faser dadurch auf, dass in der Faser mindestens ein Stresskern vorgesehen ist, welcher sich im Wesentlichen in Längsrichtung der Faser erstreckt und welcher auf den Einmodenkern Kräfte ausübt. Es wird also eine Kombination eines dotierten Einmodenkerns, eines im Querschnitt nicht zirkularsymmetrischen Pumpkerns und eines polarisationserhaltenden Stresskerns zur Verfügung gestellt. Somit werden sowohl hohe Leistungen zur Verfügung gestellt, und ferner kann eine gute Kanaltrennung und ein guter Signal-zu-Rausch-Abstand eines Kommunikationspfades aufgrund der polarisierten Emission des Lichtes zur Verfügung gestellte werden.

[0010] Vorzugsweise umgibt der Stresskern den Einmodenkern. Die Faser hat im Querschnitt also eine Struktur mit einem innenliegenden Einmodenkern, einen den Einmodenkern umgebenden ersten Bereich, der als Stresskern ausgebildet ist, und einen den Einmodenkern und den Stresskern umgebenden zweiten Bereich, welcher als Pumpkern wirkt. Dieser letztere Bereich ist dann noch von dem verbleibenden Fasermaterial eingebettet.

[0011] Es ist aber auch möglich, dass zwei Stresskerne vorgesehen sind, die den Einmodenkern nicht umgeben. Der Einmodenkern ist somit direkt von einem Bereich umgeben, welcher ein Teil des Pumpkerns ist, während die Stresskerne ebenfalls ganz oder teilweise in dem Pumpkern eingebettet sind. Man ist also insgesamt im Hinblick auf die Gestaltung der erfundungsgemäßen Faser äußerst flexibel.

[0012] Es kann vorteilhaft sein, dass der mindestens eine Stresskern einen im Wesentlichen ovalen Querschnitt aufweist. Eine derartige Gestalt ist bevorzugt, wenn der Stresskern den Einmodenkern umgibt, da die Geometrie die erforderlichen, die Polarisationserhaltung herbeiführenden Kräfte auf diese Weise auf den Einmodenkern überträgt.

[0013] Es kann aber auch vorteilhaft sein, dass der mindestens eine Stresskern einen im Wesentlichen kreisförmigen Querschnitt aufweist. Eine derartige kreisförmige Gestaltung ist bevorzugt, wenn die Stresskerne den Einmodenkern nicht umgeben beziehungsweise einbetten. Beispielsweise sind die kreisförmigen Stresskerne im Querschnitt diametral gegenüberliegend mit dem Einmodenkern in der Mitte zwischen den Stresskernen liegend angeordnet.

[0014] Ebenfalls kann vorgesehen sein, dass der mindestens eine Stresskern einen mehreckigen Querschnitt aufweist. Auch diese Ausführungsform wird beispielsweise bei separaten Stresskernen bevorzugt, die den Einmodenkern nicht direkt umgeben beziehungsweise einbetten. Wiederum ist eine diametral gegenüberliegende Anordnung mit einem dazwischenliegenden Einmodenkern bevorzugt.

[0015] In einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung ist der Brechungsindex des mindestens einen Stresskerns kleiner oder gleich dem Brechungsindex des Pumpkerns. Eine derartige relative Größe der Brechungsindizes ist besonders dann bevorzugt, wenn die Stresskerne den Einmodenkern nicht umschließen. Bei der entgegengesetzten relativen Größe würde Pumplicht in den Stresskernen gefangen, so dass dieses nicht zu dem Einmodenkern gelangen könnte.

[0016] Andererseits kann auch vorteilhaft sein, dass der Brechungsindex des mindestens einen Stresskerns größer ist als der Brechungsindex des Pumpkerns. Dies ist besonders dann nützlich, wenn der Stresskern den Einmodenkern direkt umschließt. Auf diese Weise wird Pumplicht auf einen engeren Bereich um den Einmodenkern konzentriert, was vorteilhaft im Hinblick auf die Anregung im Einmodenkern ist.

[0017] Vorzugsweise hat der mindestens eine Stresskern einen thermischen Ausdehnungskoeffizienten, der sich von dem thermischen Ausdehnungskoeffizienten des Fasermaterials unterscheidet. Die Bereitstellung unterschiedlicher thermischer Ausdehnungskoeffizienten ist ein geeignetes Mittel, dem Einmodenkern eine Spannung zu induzieren, welche eine Doppelbrechung bewirkt. Auf diese Weise werden die polarisationserhaltenden Eigenschaften zur Verfügung gestellt.

[0018] Vorzugsweise ist das Produkt aus numerischer Apertur und Durchmesser des Pumpkerns größer oder gleich dem Produkt aus numerischer Apertur und Durchmesser einer Pumplichtquelle. Auf diese Weise kann die Pumpleistung effizient in den Pumpkern eingekoppelt werden.

[0019] Dabei kann es sich als besonders vorteilhaft erweisen, dass die numerische Apertur des Pumpkerns etwa 0,22 beträgt und dass der Durchmesser des Pumpkerns etwa 100 µm beträgt. Derartige Werte haben sich sowohl im Hinblick auf ihre geometrische Ausdehnung als auch bezüglich der Laser- beziehungsweise Verstärkungseigenschaften bewährt.

[0020] Vorzugsweise ist der Einmodenkern mit mindestens einem Element aus der Gruppe Neodym, Erbium, Thulium, Holmium, Ytterbium und Praseodym dotiert. All diese laseraktiven Substanzen sind im Rahmen der vorliegenden Erfindung vorteilhaft einsetzbar.

[0021] Weiterhin kann als Ausgangsmaterial der Faser Quarzglas oder Fluoridglas eingesetzt werden. Ebenfalls im Hinblick auf die Ausgangsmaterialien ist man also äußerst flexibel, ohne den Umfang der vorliegenden Erfindung zu verlassen.

[0022] Besonders bevorzugt ist es, wenn die erfundungsgemäße beziehungsweise die gattungsgemäße Faser eine Codotierung mit Cer aufweist. Eine solche Codotierung stellt eine besondere Strahlungsunempfindlichkeit für die Faser zur Verfügung, was insbesondere für die Unterwasser-Kommunikation und für Intersatellitenverbindungen besonders wichtig ist.

[0023] Dabei ist es von besonderem Vorteil, wenn der Einmodenkern eine Codotierung mit Cer aufweist. Dies hat eine Strahlungsunempfindlichkeit insbesondere der nächsten Umgebung der laseraktiven Bereiche zur Folge, was für die Längzeifunktion besonders nützlich ist.

[0024] Es kann aber auch vorteilhaft sein, dass der mindestens eine Stresskern eine Codotierung mit Cer aufweist. Auch auf diese Weise kann die Langzeitstabilität der Faser bei einer überhöhten Strahlungsbelastung verbessert werden.

[0025] Die Erfindung baut auf dem gattungsgemäßen Verfahren dadurch auf, dass in die Faser mindestens ein Stresskern eingebracht wird, welcher sich im Wesentlichen in Längsrichtung der Faser erstreckt und welcher auf den Einmodenkern Kräfte ausübt. Es wird also eine Kombination eines dotierten Einmodenkerns, eines im Querschnitt nicht zirkularsymmetrischen Pumpkerns und eines polarisationserhaltenden Stresskerns zur Verfügung gestellt. Somit werden sowohl hohe Leistungen zur Verfügung gestellt, und ferner kann eine gute Kanaltrennung und ein guter Signal-zu-Rausch-Abstand eines Kommunikationspfades aufgrund der polarisierten Emission des Lichtes zur Verfügung gestellte werden.

[0026] Vorzugsweise wird zur Einstellung eines Brechzahlprofils eine Quarzfaser mit Aluminium verwendet. Dieses an sich bekannte Verfahren lässt sich im Rahmen der vorliegenden Erfindung vorteilhaft einsetzen.

[0027] Es ist vorteilhaft, wenn die Dotierung mit  $Yb_2O_3$  erfolgt. Bei Wahl einer geeigneten Konzentration von  $Yb_2O_3$ , beispielsweise 0,6 mol%, erhält man eine Dotierungskonzentration, welche für die Laser- beziehungsweise die Verstärkerfunktion vorteilhaft ist.

[0028] Ferner kann es bei einem gattungsgemäßen beziehungsweise einem erfundungsgemäßen Verfahren nützlich sein, dass eine Codotierung mit  $Ce_2O_3$  erfolgt. Auf diese Weise erhält man die erwünschte erhöhte Widerstandsfähigkeit gegen Strahlung. Besonders nützlich ist es, wenn beispielsweise eine Konzentration von  $Ce_2O_3$  von 0,24 mol% verwendet wird. In diesem Zusammenhang ist zu betonen, dass eine Dotierbarkeit mit Cer praktisch immer gegeben ist, da Cer aus der gleichen chemischen Gruppe stammt wie die laseraktiven Ionen.

[0029] Die Erfindung besteht ferner in der Verwendung einer erfundungsgemäßen Faser als Leistungsverstärker für

Licht mit einer Wellenlänge von etwa 1064 nm in der optischen Intersatellitenkommunikation. Eine solche Verwendung als Leistungsverstärker, welcher sich in dem Sendeteil eines Kommunikationssatelliten befindet, setzt die Vorteile der Erfindung um.

[0030] Der Erfundung liegt die überraschende Erkenntnis zugrunde, dass sich sowohl eine Verbesserung der Strahlungsbeständigkeit als auch eine Polarisationserhaltung bei einer Faser mit einem dotierten Einmodenkern und einem Pumpkern durch wirkungsvolle Maßnahmen zur Verfügung stellen lassen. Durch einen oder mehrere Stresskerne mit geeigneten optischen Eigenschaften lässt sich eine Polarisationserhaltung bereitstellen, wobei die hohen Intensitäten eines Systems mit Einmodenkern und Pumpkern zur Verfügung gestellt werden. Durch geeignete geometrische Formgebung des Stresskerns lässt sich das Pumpverhalten noch verbessern. Indem geeignete Bereiche der Faser mit Cer dotiert werden, kommt es zu einer verbesserten Strahlungsbeständigkeit, was insbesondere für die Unterwasserkommunikation und für Intersatellitenverbindungen eine wichtige Rolle spielt.

### Zeichnungen

[0031] Die Erfundung wird nun mit Bezug auf die begleitenden Zeichnungen anhand bevorzugter Ausführungsformen beispielhaft erläutert.

[0032] Dabei zeigt:

[0033] Fig. 1 eine Schnittansicht einer ersten Ausführungsform einer Faser des Standes der Technik;

[0034] Fig. 2 eine Schnittansicht einer zweiten Ausführungsform einer Faser des Standes der Technik;

[0035] Fig. 3 eine Schnittansicht einer dritten Ausführungsform einer Faser des Standes der Technik;

[0036] Fig. 4 eine Schnittansicht einer vierten Ausführungsform einer Faser des Standes der Technik;

[0037] Fig. 5 eine Schnittansicht einer fünften Ausführungsform einer Faser des Standes der Technik;

[0038] Fig. 6 eine Schnittansicht einer erfundungsgemäßen Faser;

[0039] Fig. 7 ein Diagramm zur Erläuterung der Erfundung.

### Beschreibung der Ausführungsbeispiele

[0040] In Fig. 1 ist eine Schnittansicht einer Faser des Standes der Technik dargestellt. Im Zentrum der Faser verläuft ein dotierter Einmodenkern 110. Dieser ist von einem Pumpkern 112 umgeben. Beide Kerne sind in einem äußeren Mantel 122 eingebettet. Der Einmodenkern 110 ist mit einem Element der seltenen Erden dotiert. Der Pumpkern 112 ist nicht zirkularsymmetrisch um den Einmodenkern 110 angeordnet. Aufgrund der numerischen Apertur des Pumpkerns und seines Durchmessers ist dieser vielmodig. Der Pumpkern 112 führt das Anregungsslicht, welches in den laseraktiven Einmodenkern 110 eingekoppelt werden soll. Die Bereitstellung eines Pumpkerns 112 hat Vorteile. Bei herkömmlichen Einmodenfasern wird das Pumplicht nur im Einmodenkern geführt. Somit ist, die Einkopplung hoher Anregungsleistungen nicht möglich. Bei der Faser gemäß Fig. 1 kann hingegen aufgrund der Bereitstellung des speziell gestalteten Pumpkerns 112 eine hohe Leistung eingekoppelt werden.

[0041] Fig. 2 zeigt eine Schnittansicht einer weiteren Ausführungsform einer Faser des Standes der Technik. Hier ist der Einmodenkern 110 von einem Pumpkern 114 umgeben, welcher sich in seiner Gestalt von dem Pumpkern 112 gemäß Fig. 1 unterscheidet. Wiederum sind beide Kerne, so-

wohl der Einmodenkern 110 als auch der Pumpkern 114 in einem äußeren Mantel 122 eingebettet. Auch der Pumpkern 114 gemäß Fig. 2 ist nicht zirkularsymmetrisch. Von der grundsätzlichen Funktion her ist die Faser gemäß Fig. 2 mit denjenigen aus Fig. 1 vergleichbar.

[0042] Fig. 3 zeigt eine Schnittansicht einer dritten Ausführungsform einer Faser des Standes der Technik. In diesem Fall ist kein Pumpkern vorgesehen. Vielmehr ist die Einmodenfaser direkt in dem äußeren Mantel 122 der Faser eingebettet. Auf zwei diametral gegenüberliegenden Seiten des dotierten Einmodenkerne 110 sind Stresskerne 116 angeordnet. Diese Stresskerne besitzen einen anderen thermischen Ausdehnungskoeffizienten als das Fasermaterial. Die hierdurch indem Einmodenkern 110 induzierte Spannung bewirkt eine Doppelbrechung des Einmodenkerne 110, wodurch er polarisationserhaltend wirkt.

[0043] In Fig. 4 ist eine Schnittansicht einer vierten Ausführungsform einer Faser des Standes der Technik dargestellt. Der Einmodenkern 110 ist hier direkt von dem oval geformten Stresskern 118 umgeben, wobei das System aus Einmodenkern 110 und Stresskern 118 in den äußeren Mantel 122 der Faser eingebettet ist. Wiederum wird durch die Einwirkung des Stresskerns 118 auf den Einmodenkern 110 eine Polarisationserhaltung realisiert.

[0044] In Fig. 5 ist eine fünfte Ausführungsform einer Faser des Standes der Technik dargestellt. Die Anordnung gemäß Fig. 5 ist mit denjenigen aus Fig. 3 vergleichbar. Im Unterschied zu Fig. 3 sind allerdings Stresskerne 120 mit einem trapezförmigen Querschnitt vorgesehen. Der dotierte Einmodenkern 110 ist wiederum direkt in den äußeren Mantel 122 der Faser eingebettet.

[0045] Fig. 6 zeigt eine Schnittansicht einer erfundungsgemäßen Faser. Der im Zentrum der Faser verlaufende dotierte Einmodenkern 10 ist von einem oval Stresskern 18 umgeben. Dieses System ist in einem Pumpkern 14 mit nicht zirkularsymmetrischer Form angeordnet. Das gesamte System aus Einmodenkern 10, Stresskern 18 und Pumpkern 14 ist von dem äußeren Mantel 22 der Faser umgeben. Die angegebenen Maße sind nur beispielhaft zu verstehen. Ebenfalls ist die konkrete Formgebung des Pumpkerns 14 und des Stresskerns 18 nur beispielhaft. Weitere Beispiele von möglichen Anordnungen ergeben sich durch beliebige Kombinationen der in den Fig. 1 bis 5 angegebenen Strukturen. Die Faser gemäß Fig. 6 kann mit einer hohen Leistung gepumpt werden, da ein Pumpkern 14 vorgesehen ist. Ferner wird aber auch eine Polarisationserhaltung durch das Einbringen des Stresskerns 18 zur Verfügung gestellt.

[0046] Für die Geometrie der Ausführung ist zu berücksichtigen, dass das Produkt aus numerischer Apertur und 50 Kerndurchmesser des Pumpkerns 14 größer oder gleich, dem Produkt der numerischen Apertur und des Durchmessers der Pumplichtquelle sein sollte, um auf diese Weise die Pumpleistung effizient in den Pumpkern 14 einkoppeln zu können. Eine mögliche Kombination wäre beispielsweise 55 dass sowohl die Pumplichtquelle als auch der Pumpkern eine numerische Apertur von 0,22 aufweisen und dass ferner sowohl die Pumplichtquelle als auch der Pumpkern einen Durchmesser von 100 µm haben.

[0047] Ebenfalls sind bei einer Anordnung gemäß Fig. 6 60 Anforderungen an die Brechungsindizes der beteiligten Bereiche gestellt. Bei der Ausführungsform gemäß Fig. 6, bei der der Stresskern 18 den Einmodenkern umschließt, ist es nützlich, wenn der Brechungsindex des Stresskerns 18 größer ist als der Brechungsindex des Pumpkerns 14. Auf diese Weise wird Licht auf einen engeren Bereich um den Einmodenkern konzentriert, was im Hinblick auf die Einkopplung des Lichtes nützlich ist. Anders wären die Verhältnisse, wenn der Einmodenkern 10 nicht direkt von einem Stress-

kern umgeben wäre, dass heißt, wenn beispielsweise eine Struktur gemäß Fig. 3 oder Fig. 5 bezüglich der Stresskerne bestünde. In diesem Fall sollte der Brechungsindex der in dem Pumpkern eingebetteten Stresskerne nicht größer ist als derjenige des Pumpkerns sein, da ansonsten Pumplicht in den Kernen gefangen würde. Dies könnte daher nicht zum Einmodenkern gelangen.

[0048] Vorzugsweise ist der Einmodenkern 10 mit Cer codotiert. Hierdurch wird die Faser beständiger gegen Strahlung, insbesondere radioaktive Bestrahlung und Bestrahlung durch Protonen oder Elektronen. Beispielsweise lässt sich eine erfahrungsgemäße Faser dadurch herstellen, dass eine Codotierung mit 0,24 mol%  $\text{Ce}_2\text{O}_3$  zu einer mit 0,6 mol%  $\text{Yb}_2\text{O}_3$  dotierten Quarzfaser erfolgt. Die Quarzfaser ist mit Aluminium zum Einstellen des Brechzahlprofils versehen.

[0049] Fig. 7 zeigt ein Diagramm, in welchem die Ausgangsleistung  $P_A$  gegen die Pumpleistung  $P_P$  aufgetragen ist. Die mit a gekennzeichneten Messpunkte zeigen das Leistungsverhalten einer mit Cer codotierten unbestrahlten Ytterbiumfaser. Die mit b gekennzeichneten Messpunkte zeigen das Leistungsverhalten einer mit Cer codotierten bestrahlten Ytterbiumfaser. Die mit c gekennzeichneten Messpunkte zeigen das Verhalten einer nicht mit Cer codotierten unbestrahlten Ytterbiumfaser. Die mit d gekennzeichneten Messpunkte zeigen das Leistungsverhalten einer nicht mit Cer codotierten bestrahlten Ytterbiumfaser. Die Bestrahlung hat vor der Aufnahme der Messpunkte b und d jeweils mit 100 kRAD Gamma ( $\text{Co}^{60}$ ) stattgefunden. Bei der mit Cer codotierten Faser stellt man einen Rückgang der Ausgangsleistung eines Faserverstärkers auf zirka 70% der vor der Bestrahlung gemessenen Ausgangsleistung fest. Eine nicht mit Cer codotierte Vergleichsfaser (gleiche Komposition nur ohne Cer) könnte dagegen nach der Bestrahlung nicht mehr als Verstärker betrieben werden, da die durch Farbzentren induzierte Dämpfung zu groß war. Der Rückgang der Effizienz liegt bei etwa 20% derjenigen der unbestrahlten Faser.

[0050] Die Dotierungskonzentrationen von Cer können in einem weiten Bereich bezüglich der Dotierungskonzentration des laseraktiven Ions liegen. Beispielsweise sind Codotierungen zwischen 5% und 100% der Dotierungskonzentration des laseraktiven Ions möglich. Durch die Dotierung der Stresskerne mit Cer ist ebenfalls eine Verbesserung möglich, da dann die Erzeugung von Farbzentren auch in den Stresskerne vermieden werden kann.

[0051] Die vorhergehende Beschreibung der Ausführungsbeispiele gemäß der vorliegenden Erfindung dient nur zu illustrativen Zwecken und nicht zum Zwecke der Beschränkung der Erfindung. Im Rahmen der Erfindung sind verschiedene Änderungen und Modifikationen möglich, ohne den Umfang der Erfindung sowie ihre Äquivalente zu verlassen.

#### Patentansprüche

1. Lichtleitende Faser mit einem dotierten Einmodenkern (10), welcher sich im Wesentlichen in Längsrichtung der Faser erstreckt, und einem Pumpkern (14), welcher den Einmodenkern (10) umgibt, wobei der Pumpkern (14) einen nicht zirkular-symmetrischen Querschnitt aufweist, dadurch gekennzeichnet,
- dass in der Faser mindestens ein Stresskern (18) vorgesehen ist, welcher sich im Wesentlichen in Längsrichtung der Faser erstreckt und welcher auf den Einmodenkern (10) Kräfte ausübt.
2. Lichtleitende Faser nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der Stresskern (18) den Einmodenkern (10) umgibt.
3. Lichtleitende Faser nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass zwei Stresskerne vorgesehen sind, die den Einmodenkern (18) nicht umgeben.
4. Lichtleitende Faser nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der mindestens eine Stresskern (18) einen im Wesentlichen ovalen Querschnitt aufweist.
5. Lichtleitende Faser nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der mindestens eine Stresskern einen im Wesentlichen kreisförmigen Querschnitt aufweist.
6. Lichtleitenden Faser nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der mindestens eine Stresskern einen mehreckigen Querschnitt aufweist.
7. Lichtleitende Faser nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Brechungsindex des mindestens einen Stresskern kleiner oder gleich dem Brechungsindex des Pumpkerns ist.
8. Lichtleitende Faser nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Brechungsindex des mindestens einen Stresskern (18) größer als der Brechungsindex des Pumpkerns (14) ist.
9. Lichtleitende Faser nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der mindestens eine Stresskern (18) einen thermischen Ausdehnungskoeffizienten hat, der sich von dem thermischen Ausdehnungskoeffizienten des Fasermaterials unterscheidet.
10. Lichtleitende Faser nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das Produkt aus numerischer Apertur und Durchmesser des Pumpkerns (14) größer oder gleich dem Produkt aus numerischer Apertur und Durchmesser einer Pumplichtquelle ist.
11. Lichtleitende Faser nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die numerische Apertur des Pumpkerns (14) etwa 0,22 beträgt und dass der Durchmesser des Pumpkerns etwa 100  $\mu\text{m}$  beträgt.
12. Lichtleitende Faser nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Einmodenkern (10) mit mindestens einem Element aus der Gruppe Neodym, Erbium, Thulium, Holmium, Ytterbium und Praseodym dotiert ist.
13. Lichtleitende Faser nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das Ausgangsmaterial der Faser Quarzglas oder Fluoridglas ist.
14. Lichtleitende Faser, insbesondere nach einem der vorangehenden Ansprüche, mit einem dotierten Einmodenkern (10), welcher sich im Wesentlichen in Längsrichtung der Faser erstreckt, und einem Pumpkern (14), welcher den Einmodenkern (10) umgibt, wobei der Pumpkern (14) einen nicht zirkular-symmetrischen Querschnitt aufweist, dadurch gekennzeichnet,
- dass die Faser eine Codotierung mit Cer aufweist.
15. Lichtleitende Faser nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Einmodenkern (10) eine Codotierung mit Cer aufweist.
16. Lichtleitende Faser nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der mindestens eine Stresskern (18) eine Codotierung mit Cer aufweist.
17. Verfahren zum Herstellen einer lichtleitenden Faser mit einem dotierten Einmodenkern (10), welcher sich im Wesentlichen in Längsrichtung der Faser er-

streckt, und einem Pumpkern (14), welcher den Einmodenkern (10) umgibt, wobei der Pumpkern (14) einen nicht zirkularsymmetrischen Querschnitt aufweist, bei-  
dem der Einmodenkern mit einem Element aus der  
Gruppe Neodym, Erbium, Thulium, Holmium, Ytter-  
bium und Praseodym dotiert wird, dadurch gekenn-  
zeichnet, dass in die Faser mindestens ein Stresskern  
(18) eingebracht wird, welcher sich im Wesentlichen in  
Längsrichtung der Faser erstreckt und welcher auf den  
Einmodenkern (10) Kräfte ausübt. 5

18. Verfahren nach Anspruch 17, dadurch gekenn-  
zeichnet, dass zur Einstellung eines Brechzahlprofils  
eine Quarzfaser mit Aluminium verwendet wird. 10

19. Verfahren nach Anspruch 17 oder 18, dadurch ge-  
kennzeichnet, dass die Dotierung mit  $\text{Yb}_2\text{O}_3$  erfolgt. 15

20. Verfahren nach einem der Ansprüche 17 bis 19,  
dadurch gekennzeichnet, dass die Codotierung mit  
 $\text{Ce}_2\text{O}_3$  erfolgt. 20

21. Verfahren zum Herstellen einer Lichtleitenden Fa-  
ser mit einem dotierten Einmodenkern (10), insbeson-  
dere nach einem der Ansprüche 17 bis 20, dadurch ge-  
kennzeichnet, dass eine Codierung mit  $\text{Ce}_2\text{O}_3$  erfolgt. 25

Hierzu 4 Seite(n) Zeichnungen

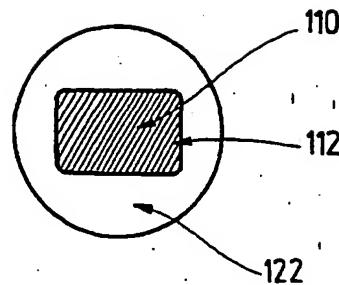


Fig.1

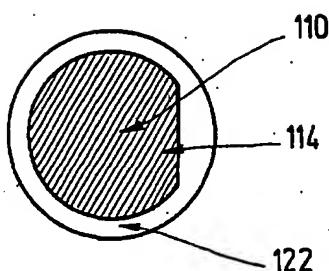


Fig.2

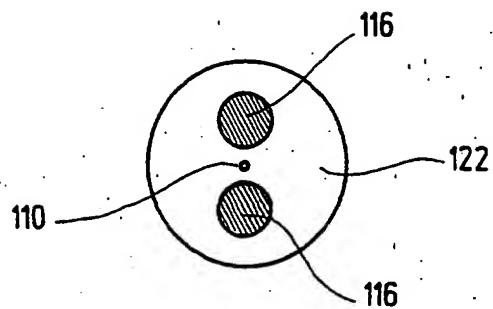


Fig.3

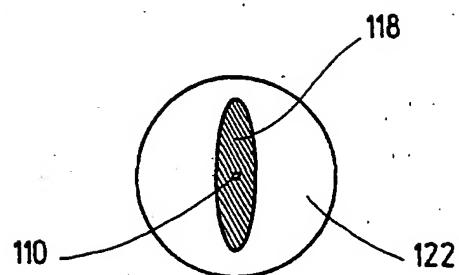


Fig.4

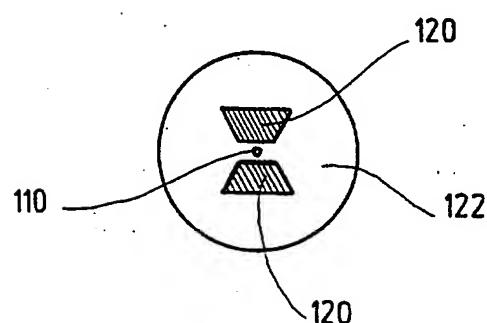


Fig.5

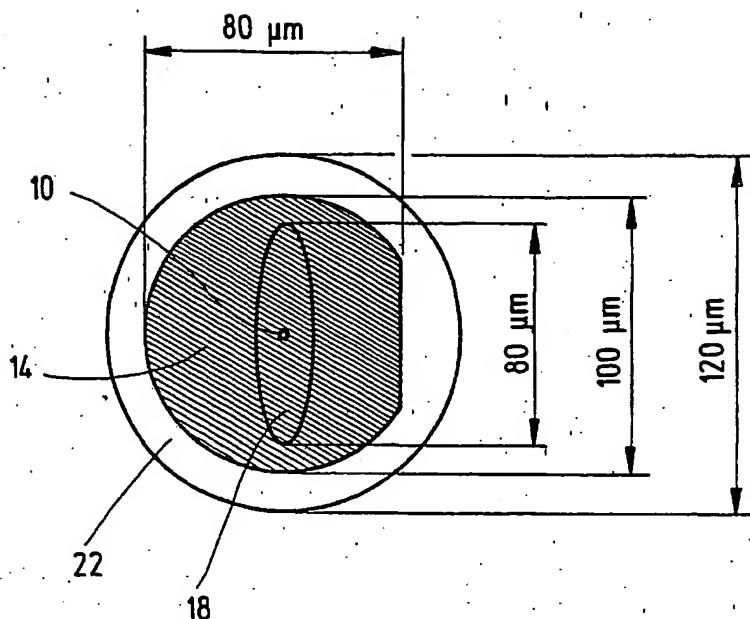


Fig.6

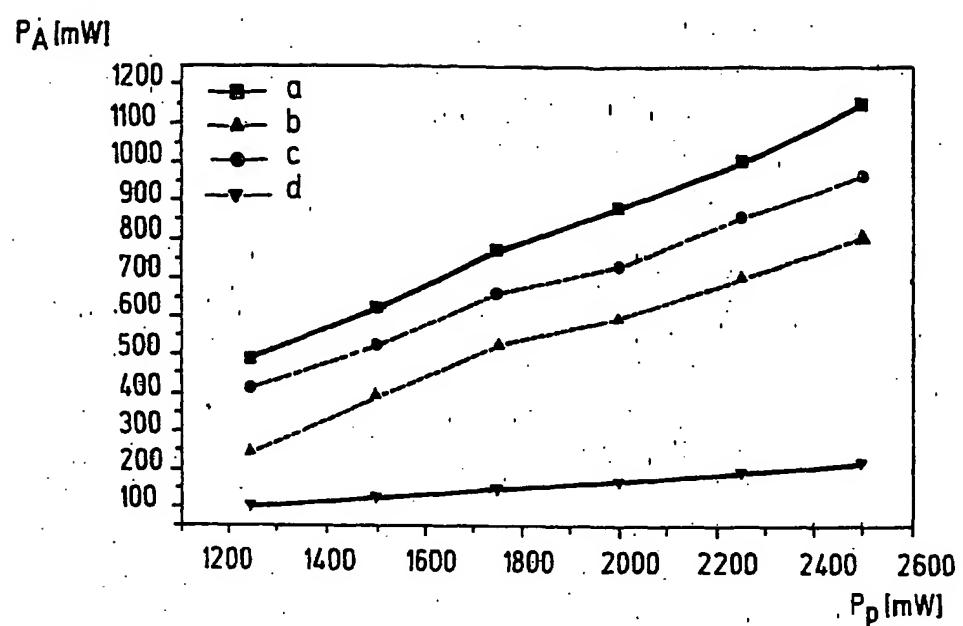


Fig.7